

Docket No.: AIS-0008
(PATENT)

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:
Akira Shoji, et al.

Application No.: Not Yet Assigned

Confirmation No.:

Filed: Concurrently Herewith

Art Unit: N/A

For: METHOD FOR FORMING JOSEPHSON
JUNCTION, JOSEPHSON JUNCTION AND
APPARATUS USING JOSEPHSON
JUNCTION

Examiner: Not Yet Assigned

CLAIM FOR PRIORITY AND SUBMISSION OF DOCUMENTS

MS Patent Application
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

Dear Sir:

Applicant hereby claims priority under 35 U.S.C. 119 based on the following prior foreign application filed in the following foreign country on the date indicated:

<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Date</u>
Japan	2002-240313	August 21, 2002

In support of this claim, a certified copy of the said original foreign application is filed herewith.

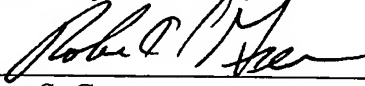
Application No.: Not Yet Assigned

Docket No.: AIS-0008

Applicant believes no fee is due with this response. However, if a fee is due, please charge our Deposit Account No. 18-0013, under Order No. from which the undersigned is authorized to draw.

Dated: August 21, 2003

Respectfully submitted,

By 

Robert S. Green

Registration No.: 41,800

RADER, FISHMAN & GRAUER PLLC

1233 20th Street, N.W., Suite 501

Washington, DC 20036

(202) 955-3750

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 8 月 2 1 日
Date of Application:

出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 2 4 0 3 1 3
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 2 - 2 4 0 3 1 3]

出 願 人 独 立 行 政 法 人 産 業 技 術 総 合 研 究 所
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 1 0 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 5 6 1 7 4

【書類名】 特許願

【整理番号】 329-02257

【あて先】 特許庁長官 殿

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 東海林 彰

【発明者】

【住所又は居所】 茨城県つくば市東 1 - 1 - 1 独立行政法人産業技術総合研究所つくばセンター内

【氏名】 山森 弘毅

【特許出願人】

【識別番号】 301021533

【氏名又は名称】 独立行政法人産業技術総合研究所

【代表者】 吉川 弘之

【電話番号】 0298-61-3280

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ジョセフソン接合の作成方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ジョセフソン接合の作成方法において、Si 基板上に、アモルファスの MgO 及び高配向 MgO から成る MgO の二重層を形成し、該二重層の上に NbN 又は NbCN 膜を積層したことを特徴とするジョセフソン接合の作成方法。

【請求項 2】 請求項 1 記載のジョセフソン接合の作成方法において、上記 NbN 膜又は NbCN 膜を電極として用いることを特徴とする多重積層型ジョセフソン接合の作成方法。

【請求項 3】 ジョセフソン接合において、Si 基板上に、アモルファスの MgO 及び高配向 MgO から成る MgO の二重層、該二重層の上に NbN 又は NbCN 膜を積層したことを特徴とするジョセフソン接合。

【請求項 4】 請求項 3 記載のジョセフソン接合において、上記 NbN 膜又は NbCN 膜を電極として用いることを特徴とする多重積層型のジョセフソン接合。

【請求項 5】 デジタルーアナログ変換器において、上記請求項 3 又は 4 に記載のジョセフソン接合を用いたものであることを特徴とするデジタルーアナログ変換器。

【請求項 6】 プログラマブルジョセフソン電圧標準用接合アレーにおいて、上記請求項 5 記載のデジタルーアナログ変換器を用いたことを特徴とするプログラマブルジョセフソン電圧標準用接合アレー。

【請求項 7】 ジョセフソン電圧発生装置において、上記請求項 6 記載プログラマブルジョセフソン電圧標準用接合アレーを用いたことを特徴とするジョセフソン電圧発生装置。

【請求項 8】 ジョセフソン電圧標準装置において、上記請求項 6 記載プログラマブルジョセフソン電圧標準用接合アレーを用いたことを特徴とするジョセフソン電圧標準装置。

【請求項 9】 超伝導サブミリ発振素子において、上記請求項 3 又は 4 に記載のジョセフソン接合を用いたことを特徴とする超伝導サブミリ発振素子。

【請求項 10】 超伝導量子干渉素子において、上記請求項 3 又は 4 に記載

のジョセフソン接合を用いたことを特徴とする超伝導量子干渉素子。

【請求項 1 1】 超伝導デジタル集積回路において、上記請求項 3 又は 4 に記載のジョセフソン接合を用いたことを特徴とする超伝導デジタル集積回路。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本願発明は、ジョセフソン接合の作成方法および該方法により作成されたジョセフソン接合素子を用いた装置に関する。ジョセフソン接合は、弱く結合された二つの超伝導体から成る素子であり、単独あるいは超伝導インダクタンス線路と結合されて、周波数—電圧変換、磁束—電圧変換、超高速・低消費電力論理スイッチング等の機能を発揮する。以下では、その一例として、周波数—電圧変換機能について説明する。

【0 0 0 2】

ジョセフソン接合に周波数 f の電磁波を照射すると、ジョセフソン接合の 2 つの端子間には下記 (1) 式で記述される電圧 V が発生する。ここで、 n は整数、 K_J はジョセフソン定数($=2e/h=483,597.9\text{GHz/V}$)である。

$$V=nf/K_J-90 \quad (1)$$

(1) 式の V は、照射する電磁波の周波数 f の変化によってのみ変化し、素子の材料、寸法、温度等の変化によっては変化しない。電磁波の周波数は、極めて高い精度 ($1/10^{11}$ の精度) で決定することができるため、ジョセフソン接合の発生する電圧も非常に高い精度 ($1/10^9$ の精度) で決定することができる。このような周波数—電圧変換機能は、ジョセフソン接合以外の素子においては原理的に実現できない。このため、世界の主要な標準研究機関においてジョセフソン接合を用いた素子が電圧の 1 次標準に使用されている。

【0 0 0 3】

現在実用的な応用に用いられているジョセフソン接合は、電極にニオブ(Nb)膜をバリアにアルミニウムの熱酸化膜(AlO_x)を用いて作成されるNb/ AlO_x /Nb接合がほとんどである。その理由は、Nb/ AlO_x /Nb接合が、1) 多数の接合を基板上に高密度に集積した場合に均一な電気的特性が得られる、2) 臨界電流密度、常抵抗

等の電気的特性を制御することが容易である、3) 室温と極低温間の熱サイクルによって特性が劣化することが少ない等の特長を持つことにある。

【0 0 0 4】

Nb/AlO_x/Nb接合の動作は、たいてい液体ヘリウム(4.2K)中において行われている。これは、Nbの超伝導臨界温度(T_c)が約9Kと比較的に低いことに原因がある。液体ヘリウムは、日本、米国、欧州等の先進諸国においては民間の業者から比較的容易に購入することができる。しかし、その価格は、1リットル当たり千円から数千円する。このため、電圧標準素子や宇宙から来るミリ波・サブミリ波の検出素子のように定常的に動作させておく必要がある場合には、素子冷却に要するコストが大きくなる。また、液体ヘリウムが入手し難い国や地域においては、素子を動作させること自体が困難である。

【0 0 0 5】

この問題を解決する手段として、液体ヘリウムを用いずに冷凍機を用いてジョセフソン接合を冷却し動作させることが考えられる。しかし、液体ヘリウム温度にまで接合を冷却することができる冷凍装置は、非常に高価であり大きな電力を必要とする。このため、小型で低電力の冷凍機によって冷却し動作させることができるジョセフソン接合の実用化が望まれている。

【0 0 0 6】

そのようなジョセフソン接合は、2つのグループに大別される。第1のグループは、適当な組成比を有する窒化ニオブ(NbN)または適当な組成比を有する炭窒化ニオブ(NbCN)を電極材料として用いるジョセフソン接合である。これらのニオブ化合物はともに15Kを越えるT_cを有しており、それらを電極の素材とするジョセフソン接合は8-12Kにおいて動作させることができる。この範囲の温度は、市販の小型で低電力の冷凍機によって実現することができる。

【0 0 0 7】

第2のグループは、高温酸化物超伝導体、中でも適当な組成比を持つYBCOを電極の素材とするジョセフソン接合である。適当な組成比を持つYBCOは、90Kを越えるT_cを有しており、YBCOを素材とするジョセフソン接合は50Kを越える温度においても動作させることができる。しかし、YBCO等高温酸化物超伝導体を電極の

素材とするジョセフソン接合を基板上に集積して均一な特性を得る技術は、現在まだ実現されていない。この理由から、現在Nb/AlO_x/Nb接合に換わり得るジョセフソン接合は、第1のグループに属するジョセフソン接合すなわちNbNまたはNbCNを電極の素材とするジョセフソン接合以外にない。

【0 0 0 8】

NbN膜またはNbCN膜をSiウェーハ上に反応性スパッタリングによって堆積した場合、Siウェーハの結晶格子とNbN膜またはNbCN膜の結晶格子との整合性が良くないために、作成した膜は多結晶膜となる。多結晶NbN膜及びNbCN膜の磁場侵入長は、通常、300nm程度になる。したがって、ジョセフソン接合の電極に使用されるNbN膜あるいはNbCN膜の厚さは、カイネティック・インダクタンスの増加を避けるために300nm以上にする必要がある。この値は、ジョセフソン接合の電極に用いられるNb膜の厚さの約3倍に相当する。ジョセフソン接合電極厚さの増大は、絶縁層や配線層の厚さの増大をもたらし、最終的に膜内のストレスの増大による膜の剥離を生ぜしめる。

【0 0 0 9】

上記問題の解決策として、NbN及びNbCNに適合した格子を持つ酸化マグネシウム(MgO)の単結晶を基板として使用する試みが行われている。適当なスパッタリング条件において単結晶MgO上に堆積されたNbNあるいはNbCNは、エピタキシャル成長することが知られており、それらは欠陥の少ない良質の膜になる。その結果として、膜内の磁場侵入長は、100nm程度になる。つまり、単結晶MgO基板の上に成長されたNbN膜またはNbCN膜をジョセフソン接合の電極に用いることによって、上記の問題を解決することができる。

【0 0 1 0】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、現在市販されている単結晶MgOは、極めて高価である。例えば、直径3インチ、厚さ0.5mmの単結晶MgOは、1枚10万円以上する。このため、NbNあるいはNbCNを電極の素材とする汎用のジョセフソン接合を作成するために、単結晶MgOを基板として採用することは、実質的に困難である。本願発明は、以上の問題を解決することを目的とする。

【 0 0 1 1 】

【課題を解決するための手段】

Si ウェーハ上に、スパッタリングによってアモルファスMgOと強く配向した結晶MgOから成る二重層を作成し、その上に反応性スパッタリングによりNbN膜またはNbCN膜を堆積し、それを電極に用いてジョセフソン接合を作成する。

【 0 0 1 2 】

【実施例】

具体的実施方法について、図1を用いて説明する。

- (1) Si ウェーハ (基板) 1 を純水で洗浄する。
- (2) スパッタチャンバ内においてアルゴンイオンによって表面をクリーニングし、表面吸着水を飛ばす。
- (3) 厚さ5nmのアモルファスMgO 2 と厚さ5nmの高配向MgO 3 から成るMgO二重層 4 をスパッタ成膜する。

【 0 0 1 3 】

- (4) MgO二重層 4 の上に、膜厚100nmのNbN膜 5 を反応性スパッタリングによって作成する。
- (5) 下部配線電極 7 用のレジストパターン 6 を形成する。
- (6) 反応性イオンエッチングによってNbN膜 5 を加工し、下部配線電極 7 の形状を決定する。

【 0 0 1 4 】

- (7) ウェーハをスパッタリング装置に戻し、アルゴンイオンによって表面をクリーニングした後、厚さ10nmのNbN膜 8、厚さ35nmの窒化チタニウム(TiN)膜 9 及び厚さ10nmのNbN膜 1 0 から成る三層膜 1 1 をウェーハ全面に作成する。
- (8) 接合部決定用のレジストパターン 1 2 を形成する。
- (9) 反応性イオンエッチングによって三層膜 1 1 を加工し、接合部 1 3 を作成する。

【 0 0 1 5 】

- (1 0) ウェーハを別のスパッタリング装置に移し、厚さ100nmのSiO₂絶縁膜 1 4 をウェーハ全面に堆積する。

(11) 反応性イオンエッチングによってSiO₂絶縁膜14を加工し、コンタクトホール15を作成する。

(12) 上部配線電極17を作成するために、厚さ300nmのNbN膜16を反応性スパッタリングによってウェーハ全面に作成する。

【0016】

(13) NbN膜16を反応性イオンエッチングによって加工し、上部配線電極17を決定する。

【0017】

上記の作成例は、単一積層のジョセフソン接合であるが、プログラマブル電圧標準素子を作成するために、二つのジョセフソン接合を縦に積み重ねた二重積層型ジョセフソン接合(図2)の使用が提案されている(Yamamori et al., "NbN/TiNx/NbN/TiNx/NbN double-barrier junction arrays for programmable voltage standards," Applied Physics Letters, Vol. 80, No. 8, pp. 1415-1417, 2002)ので、本願発明のジョセフソン接合をこの二重積層型ジョセフソン接合に応用してもよい。さらに、三重積層型ジョセフソン接合(図3)に利用してもよい。

【0018】

このような多重積層型ジョセフソン接合の作成では、超伝導中間層18とバリア層19の厚さをできるだけ小さくすることが、作成歩留りを向上させる観点から望ましい。本願発明で開示した方法とTiN、NbN、AlN、MgO等適当なバリア材料を選択すれば超伝導中間層18とバリア層19の厚さを従来の多重積層型ジョセフソン接合に比較して小さくすることが可能である。

【0019】

エピタキシャルNbN膜及びエピタキシャルNbCN膜は、0.5-1.0THzの周波数帯域において多結晶膜より1桁以上低い表面抵抗を持つ(Kohjiro et al., "Surface resistance of epitaxial and polycrystalline NbCN films in submillimeter wave region," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 3, No. 2, pp. 1765-1767, 1993)。この理由から、現在、NbN膜やNbCN膜を電極とするサブミリ波発振素子の作成は、高価な単結晶MgO基板の上に作成されている。本願発明で開示した方法を用いれば、それらの素子を安価なSiウェーハ上に作成

することが可能になる。

【 0 0 2 0 】

また、本願発明に係るジョセフソン接合をデジタル－アナログ変換器、プログラマブルジョセフソン電圧標準用接合アレー、ジョセフソン電圧発生装置、超伝導量子干渉素子及び超伝導デジタル集積回路等に用いることが出来る。

【 0 0 2 1 】

【発明の効果】

本願発明で開示した方法を採用することによって、以下の効果が得られる。

(1) 高価な単結晶MgO基板の代わりに安価で大面積のSi ウェーハを使用できるので大幅にコストダウンが可能になる。

(2) MgO基板は大きさ、厚さ、または形状に制限があるが、Siウェーハであればi線ステッパなどの半導体用の汎用プロセス装置を利用できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 ジョセフソン接合の作成工程

【図 2】 二重積層型ジョセフソン接合の断面図

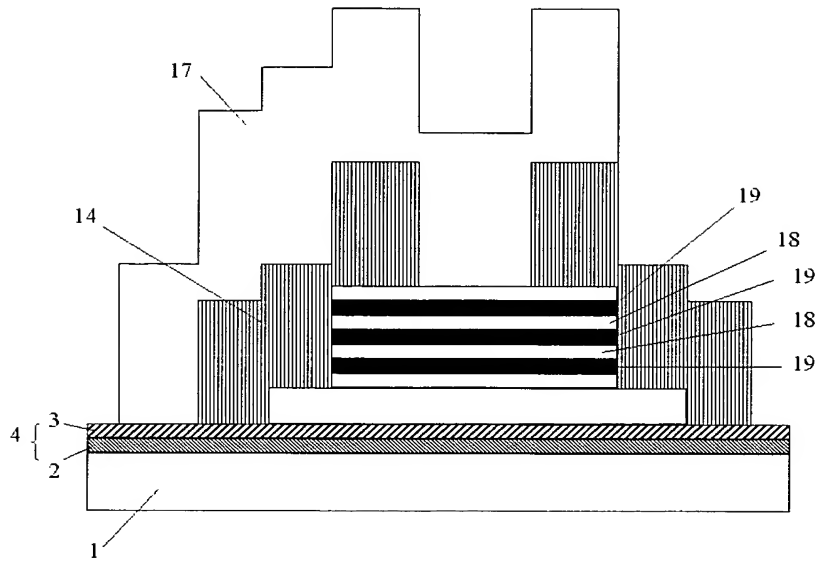
【図 3】 三重積層型ジョセフソン接合の断面図

【符号の説明】

- 1 Siウェーハ (基板)
- 2 アモルファスMgO
- 3 高配向MgO
- 4 MgO二重層
- 5 NbN膜
- 6 レジストパターン
- 7 下部配線電極
- 8 NbN膜
- 9 TiN膜
- 10 NbN膜
- 11 三層膜
- 12 レジストパターン

- 1 3 接合部
- 1 4 SiO_2 絶縁膜
- 1 5 コンタクトホール
- 1 6 NbN膜
- 1 7 上部配線電極
- 1 8 超伝導中間層
- 1 9 バリア層

【図 3】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 従来NbNやNbCNとの格子適合性の良い単結晶MgOを基板として使用する試みが行われてきた。しかし、単結晶MgOは非常に高価であるために、汎用のジョセフソン接合を作成するための基板として採用することは実質的に困難である。

【解決手段】 本願発明は、Siウェーハ上にアモルファスMgOと高配向MgOからなるMgO二重層をスパッタリングによって形成し、それを基板として用いることによってNbNあるいはNbCNをエピタキシャル成長させ、単結晶MgOを用いずに、100nm程度の磁場侵入長を持つNbN膜及びNbCN膜の作成を実現する。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

特許出願の番号	特願 2 0 0 2 - 2 4 0 3 1 3
受付番号	5 0 2 0 1 2 3 4 3 4 0
書類名	特許願
担当官	第六担当上席 0 0 9 5
作成日	平成 1 4 年 8 月 2 2 日

< 認定情報・付加情報 >

【提出日】	平成14年 8月21日
-------	-------------

次頁無

特願 2 0 0 2 - 2 4 0 3 1 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[3 0 1 0 2 1 5 3 3]

1 . 変更年月日

2 0 0 1 年 4 月 2 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区霞が関 1 - 3 - 1

氏 名

独立行政法人産業技術総合研究所